

長崎県における耐候性鋼無塗装橋梁の実態調査 Survey on the performance of uncoated weathering steel bridges in Nagasaki Prefecture

○廣門 公二* 中村 聖三** 高橋 和雄***
Koji HIROKADO Shozo NAKAMURA Kazuo TAKAHASHI

ABSTRACT In recent years, many uncoated weathering steel bridges have been constructed, but the performance of the bridges is not sufficiently grasped because comprehensive survey has not been carried out. In this study, 47 weathering steel bridges in Nagasaki Prefecture were surveyed and the results were inputted into the newly developed database. By using the database, correlation between the rust generation situation and surveyed items was examined. The authors also tried to clarify the cause of bad rust generation for some bridges.

Keywords: 耐候性鋼, 無塗装橋梁, 錆
weathering steel, uncoated bridge, rust

1. はじめに

耐候性鋼は、普通鋼に合金元素を添加することによって、年月が経つにつれて表面に緻密で密着性の高い保護性錆が形成され、腐食速度が遅くなるようにした鋼材である。橋梁においても適切に使用すれば、無塗装で優れた防食性を発揮し、塗装費用がかからないため、ライフサイクルコストの面からも非常に魅力的な鋼材である。1960年代の後半から数多くの耐候性鋼橋が架設され、これまで日本道路公団¹⁾、阪神高速道路公団²⁾、(財)鉄道総合技術研究所³⁾、(社)日本橋梁建設協会⁴⁾、(社)鋼材倶楽部⁵⁾、(社)日本鋼構造協会⁶⁾などで実態調査が行われている。しかし、調査対象橋梁は限られており、全国的な実態が十分に把握されているとは言い難い。

上記背景から、2002年度には九州橋梁・構造工学会 (KABSE) に「九州・山口地区における耐候性鋼橋の調査・研究分科会」(主査: 山口栄輝 九州工業大学助教授) が設置され、同地区に存在する耐候性鋼橋の実態調査が開始された。そこでは可能な限り多くの耐候性鋼橋について、錆の生成状況等の実態を把握することが目的とされ、現在までに300橋を超える実橋調査が行われている。

本調査ではその活動の一環として長崎県の耐候性鋼無塗装橋梁を対象に実態調査を行い、錆の生成状況と周辺環境との相関を調査するとともに、剥離錆やうろこ状錆が発見された橋梁についてはその原因の推定を試みたものである。

2. 調査概要

長崎県内の耐候性鋼使用橋梁47橋を対象とし、2002年10月～12月下旬に実橋調査を行った。調

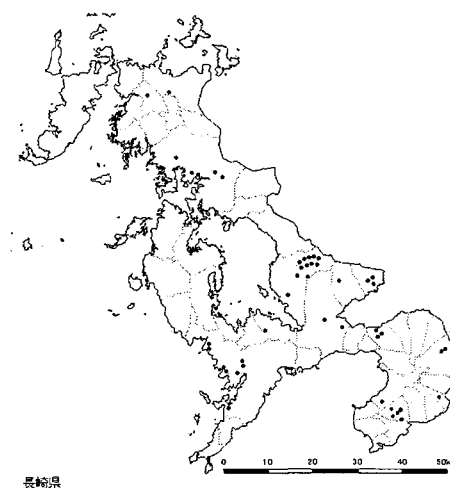


図-1 調査橋梁の架設地点

*工学士 長崎大学大学院 生産科学研究科 学生 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)
**博(工) 長崎大学 工学部社会開発工学科 助教授 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)
***工博 長崎大学 工学部社会開発工学科 教授 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)

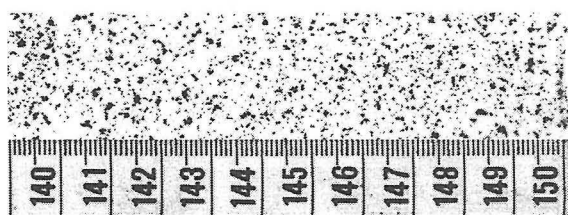


写真-1 セロテープ試験の一例

表-1 錆評価区分

錆レベル	概観評価区分	処置の目安
5	錆の量は少なく、比較的 明るい色調を呈する	不要
4	錆の大きさは1mm程度 で細かく均一である	不要
3	錆の大きさは1～5mm 程度で細かく均一である	不要
2	錆の大きさは5～25mm のうろこ状である	経過観察要
1	錆は層状の剥離である	板厚測定

査橋梁の架設地点を図-1に示す。

今回の実橋調査においては、日本橋梁建設協会から耐候性橋梁の諸元および各橋梁の一般図の提供を受け、それらの情報をもとに対象橋梁の架設地点を推測した上で、調査に出かけた。調査橋梁47橋のうち裸仕様は23橋、化成処理を施した橋梁が22橋、塗装仕様は2橋であった。安全に十分注意したうえで、調査対象橋梁に対して、一般調査、外観調査、セロテープ試験、写真撮影を行った。主な調査内容は以下のとおりである。

一般調査：地形、橋梁の方向、架橋地点の緯度・経度、桁下空間の利用状況など

外観調査：橋梁の現況（剥離錆、水たまり、結露、水みち、床版漏水の有無）

構造細目（水平部材の排水勾配、水抜きの有無、桁端部の遊間）

付属物（支承の仕様、伸縮装置の種類、検査路の有無、排水装置の突出量）

セロテープ試験とは、鋼材に直接セロテープを貼り付けて錆粒子を採取し、その粒径から錆レベルを判断するものである。セロテープ試験で得られた錆粒子の一例を写真-1に示す。セロテープ試験を実施したのは、裸仕様23橋中橋梁の構造上接触が困難であった7橋を除く16橋であった。

錆レベルの評価はマクロ(全体)評価とミクロ

(局所)評価に分けて表-1に基づき⁷⁾行った。マクロ評価とは飛来塩分、温度・湿度などの架設地点そのものの環境や山の斜面、桁下空間など地形と構造物の環境などが原因で全体的に生じる腐食に対する評価であり、ミクロ評価とは桁端や各構造細目と構造物との位置関係などの環境や伸縮装置の劣化、排水装置の不備などの架設時には予想できなかった要因により局所的に生じる腐食に対する評価である。なお、化成処理と塗装仕様橋梁については、現時点では評価基準が確立されていないので、錆レベルの判定は行わず、錆生成状況の観察・写真撮影のみを行った。

3. 調査結果と考察

3.1 長崎県の気候

長崎県の代表的な地点における2002年の気象データを、気象庁のホームページで調査した。その結果得られた平均気温(℃)、日照時間(時間)、降水量(mm)、平均相対湿度(%)を表-2に示す。表-2には比較のため、東京と大阪のデータも併せて示している。長崎県は東京、大阪に比べて降水量が多く、平均相対湿度も若干高いことがわかる。県内各地を比較すると、諫早、島原、松浦で降水量が多くなっている。しかし、その違いは10%程度であり、長崎県内の気象条件はマクロ的に見ると地点による違いはないと考えられる。

3.2 調査橋梁の内訳

調査橋梁は7割が鈹桁橋で、全体の半数以上が橋長50m以下と比較的小さい橋梁が多かった。対象橋梁の竣工から実橋調査を行った日までの年数である経過年数では、25年以上前に架設された橋梁はなく、経過年数を5年ごとに区切ってみると橋梁数はほぼ一様に分布していた。また、図-3に示すように耐候性橋梁の主な表面仕様が15～20年前頃を境に化成処理から裸仕様に移行していった傾向が伺えた。対象橋梁から最も近い海岸までの地図上での直線距離である離岸距離については、0～2km未満が14橋、2～5km未満が19橋、5km以上が14橋であった。また、図-4に示すように、裸仕様の橋梁はすべて、文献8)で無塗装仕様の適用可能地域とされている離岸距離2km以内に位置し、化成処理と塗装仕様の橋梁は比較的離岸距離が短い場所に架設されている。

表-2 2002年気象データ(長崎各地, 東京, 大阪)

	平均気温(℃)	日照時間(時間)	降水量(mm)	平均相対湿度(%)
長崎	17.5	1870.3	1614	68
佐世保	17.3	1905.6	1680	69
諫早	—	—	1778	—
大村	17.2	—	1446	—
島原	17.7	2081.2	1819	—
松浦	16.3	1610.9	1784	—
東京	16.7	1990	1294	59
大阪	17.3	2053.3	954	63

3.3 化成処理の橋梁

化成処理を用いた調査橋梁 22 橋のうち, 2 橋については, 写真-2 に示すような桁端部の水仕舞いが原因と考えられる腐食や, 写真-3 に示すようなフジツボ状の錆が発生していた。後者は離岸距離が 0.5 km であるのに加え, 桁付近には地山がせまっており, 風通しが悪くなっていることが原因と考えられる(写真-4)。また, 表面処理が化成処理から塗装仕様が変わっていた橋梁も 1 橋あった。これは, この橋梁が河口に位置し海からの飛来塩分量の影響を受けやすく, 腐食が進行していたため塗り替えられたと推測される。それ以外の橋梁については, 架設後の経過年数によっては処理膜がはがれ始め, 表面がまだらに見えるようなものもあったが, 全体的に問題のある橋梁は見られなかった。

3.4 裸仕様の橋梁

3.4.1 調査橋梁の錆レベルの評価

図-5 には錆レベルの評価結果をマクロ評価, ミクロ評価に分けて示す。マクロ評価では全てレベル 3 以上であったが, ミクロ評価ではうろこ状の錆や剥離錆の発生したレベル 2 または 1 の橋梁が 23 橋中 5 橋あった。しかし, うろこ状の錆や剥離錆など, いわゆる悪い錆が見られるのは桁端付近のごく一部分であり, 全体にわたって錆状態が悪い橋梁は見られなかった。

3.4.2 調査項目と錆レベルとの相関

実橋調査の結果に基づき, 錆レベルと各調査項目との間の相関を調査した。以降に示す錆レベルとは基本的に各橋梁におけるミクロ(局所)評価, すなわち最も厳しい評価レベルである。比較的明

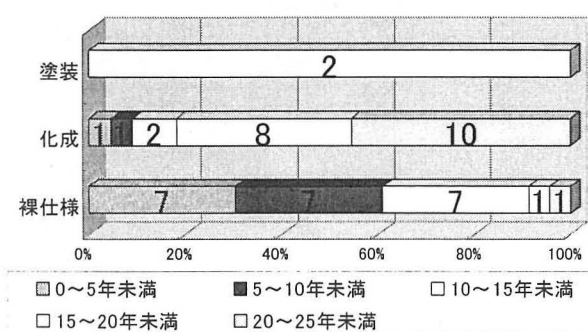


図-3 表面処理と経過年数との関係

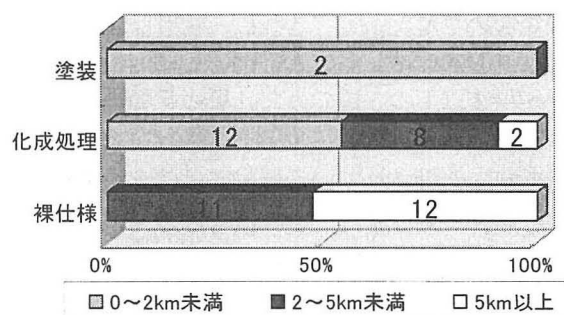


図-4 表面処理と離岸距離との関係

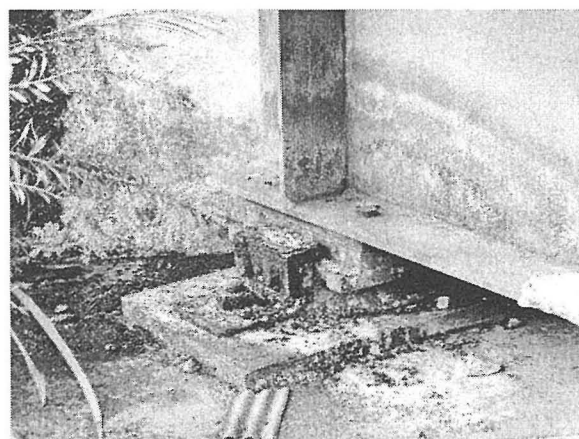


写真-2 桁端部の腐食

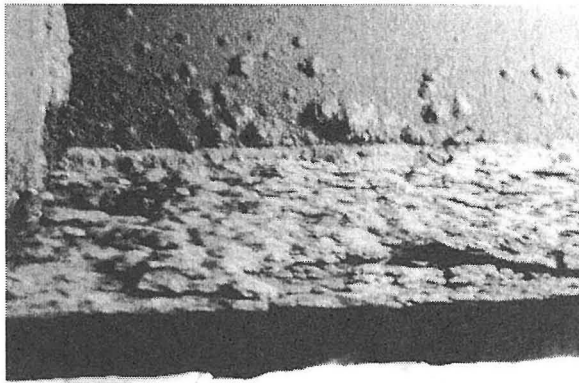


写真-3 フジツボ状の錆

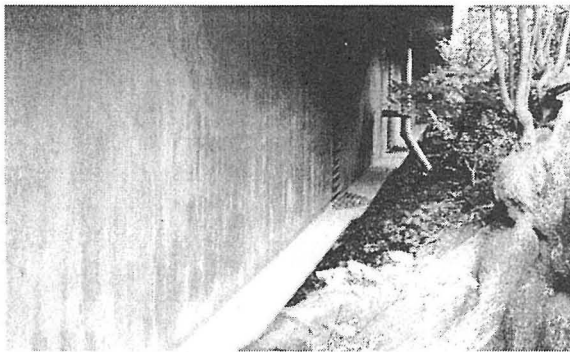


写真-4 桁にせまった地山

確な相関が見られたのは、橋梁の方向と伸縮装置の種類であった。

橋梁の方向と錆レベルとの関係を図-6 に示す。

レベル2以下の5橋のうち4橋は東西方向に架設されており、またレベル4の橋梁もないなど、東西方向に架設されている橋梁には腐食が進行しやすい傾向が見られた。これは架橋方向が東西の場合、南側に比べて北側は日当たりが悪く、恒常的に湿潤な環境になりやすいためと考えられる。

図-7 には伸縮装置と錆レベルとの関係を示す。伸縮装置に鋼板スライドと非排水鋼製フィンガージョイントを用いた橋梁の錆レベルは、ほとんどがレベル3やレベル4であったが、ゴムジョイントを用いた橋梁には錆レベルが2および1のものもあった。形式、橋長・幅員、経過年数、離岸距離などの橋梁諸元や水平部材の排水勾配の有無、床版の現状などの構造細目と錆レベルとの明確な相関は見られなかった。マクロ評価による錆レベルと離岸距離との相関を調べたところ、裸仕様の橋梁すべてが文献8)において無塗装仕様の適用可能地域とされている離岸距離2km以上の位置にあり、錆レベルも3以上であった。よって、長崎県に関しては、文献8)の規定が適切であったと判

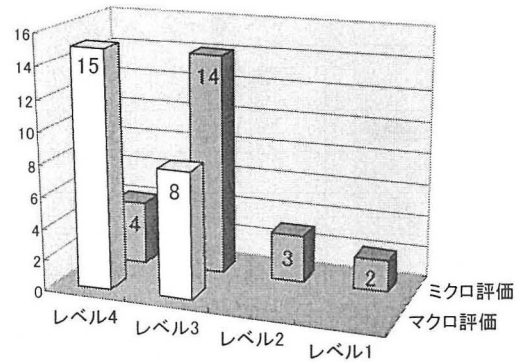


図-5 錆レベル別橋梁数

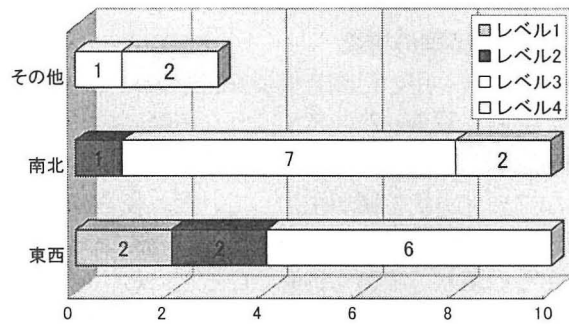


図-6 錆レベルと橋梁の方向との関係

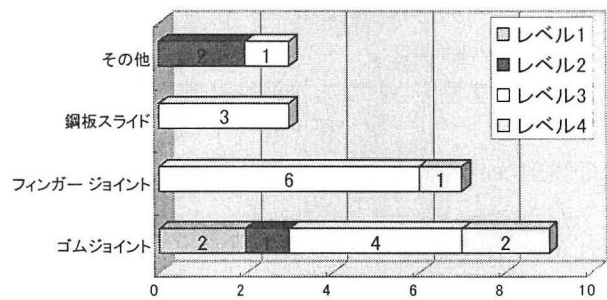


図-7 錆レベルと伸縮装置との関係

断できる。

3.4.3 腐食の状況と原因

ここでは、ミクロ評価でレベル2または1と判定された5橋それぞれについて、腐食の状況と推定される原因について述べる。

(1) A橋

4 主桁を有する裸仕様の単純鉄桁橋で、平地の田園地帯に位置している。桁下には河川が流れておりその空間は約4mである。離岸距離は4.5kmと飛来塩分の影響はないと考えられる。また、東西方向にかけられた橋であり、南側(G1側)は錆の生成状況は良好であるといえるが、A1橋台G4桁の外側下フランジの上面とウェブの立ち上がり部

に層状剥離錆が発生していた。(写真-5) その原因は、G4 側の桁端と橋台との角度が鋭角になっており(図-8)、さらにその周辺に植物が生えていることで風通しが悪くなり、湿気がたまりやすくなっているためだと考えられる。また、伸縮装置の隙間から流れてきた水が桁を伝って流れ(写真-6)、絶えず湿潤状態になることも原因の一つと考えられる。A 橋では G3・G4 間に管路が通っているが、その下に位置する横構や近くの下フランジの下面にも粗い錆が見られた。これは管の温度が相対的に低いため、特に夏場において結露が発生し、それが定常的に横構等を濡らしていることが原因と考えられる(写真-7)。

(2) B 橋

離岸距離が 2km、2 主桁を有する裸仕様の単純鈹桁橋である。周辺は平地の住宅地で、桁下には河川が流れており、その空間は約 4m である。日当たりの良い外桁(G1)の外側は全体的に錆の生成状況は良好であったが、内側下フランジの上面に層状剥離錆が見られた(写真-8)。また、桁端の対傾構に水みちがありボルト付近に粗い錆も見られた(写真-9)。その原因として、側道橋であるため主桁間隔が約 1.5m と狭く遊間も 4 cm と非常に小さいため通気性が悪いこと、桁端部が地覆からの漏水によって湿潤状態になっていることが考えられる。さらに、G2 桁の下フランジの上面からウェブ立ち上がり部分に変色した錆が見られた(写真-10)。その原因は床版と G2 桁の上フランジ上面との接合部の隙間から水漏れが生じ、ウェブを伝って下フランジに定常的に流れたためと考えられる。

(3) C 橋

3 主桁を有する裸仕様の 2 径間連続鈹桁橋で、山間部に位置している。竣工年が 1999 年と比較的新しい橋梁である。経過年数は浅いが全体的に緻密な保護性錆が生成され、マクロ評価ではレベル 3 の判定であったが、A1 橋台 G3 桁内側の下フランジ上面をレベル 2 と判定した(写真-11)。本橋の伸縮装置は車道、歩道ともゴムジョイントを採用しているが、地覆だけはスポンジ状のものが使われていた。その地覆が部分的に破損しており、そこからの水漏れ(写真-12)で内桁が湿潤状態になったため、フレーク状の錆が生成されたものと思われる。同様の水漏れは A2 橋台の桁端にも発生していた。こちらには著しい腐食部分は見られ



写真-5 下フランジ上面の層状錆

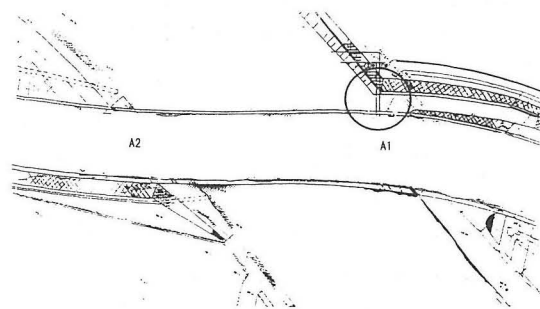


図-8 A 橋平面図



写真-6 桁端部の水みち

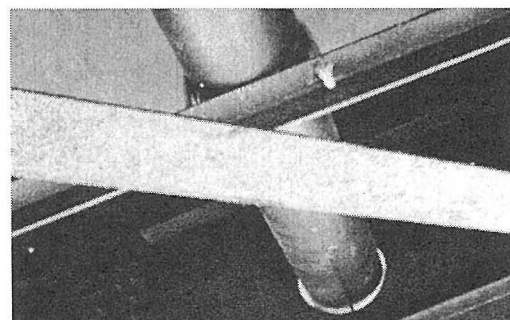


写真-7 内桁における横構の腐食

なかったが今後注意が必要である。また、この状態を放置しておくとともにさらに腐食が進行する可能性があるため、地覆に止水板を設置する等の水漏れ対策を施すのが望ましい。

(4) D 橋

山間部に位置する4主桁を有する裸仕様の2径間連続鋼桁橋であり、谷に架設されている。離岸距離は8.5km、周辺は山林で標高も高い。一部で水みちと見受けられる箇所もあったが全体評価でレベル3と判定した。全体としては問題ない橋梁といえる。しかし、A2橋台G1桁のウェブ立ち上がり部にレベル2と判定したフレーク状の錆が見られた(写真-13)。またA2橋台G3桁の下フランジ下面でも粗い錆が見られた。G1桁のフレーク状の錆については、主桁と橋台との幅、遊間が4cmと極めて小さく湿気がこもりやすい構造であることが、その原因として考えられる。また、図-9に示すように、A2橋台側には桁と地山が接近している箇所が多いことも原因の1つであると考えられる。G3桁の粗い錆については、付近のA2橋台には水が流れた跡が見られ、伸縮装置の隙間など桁端から漏水している可能性もあるため、今後注意する必要がある。

(5) E 橋

山間部に位置する橋長140m、4主桁を有する3径間連続鋼桁橋であり、大きな谷に架けられている。A2橋台付近以外は遠目からの目視で評価した結果、全体的にはレベル4と問題なかったが、A2橋台G1桁の下フランジ内側上面にレベル2と判定されるフレーク状の錆が見られた(写真-14)。その付近の支承部分でも腐食が進行していた。写真-15、16に示すように、本橋では地覆部分に伸縮装置がなく、その部分から橋台まで路面排水が流れることによって、桁端が湿潤状態になり、このような状態が生じたものと考えられる。またA2橋台のG1側付近は地山が接近し周囲に植物が生えていることから、通気性が悪くなっていることも原因の一つである可能性がある。これ以上の錆の進行を防ぐには、地覆に止水板を設置し、橋台周辺の植物を取り除く等の処置を行う必要があると考える。また、A2橋台G1桁側の排水装置も橋台に垂れ流しになっているが、これも下フランジ下面の腐食の原因になる可能性もあるので、桁の外側まで排水装置を延長させるべきである。

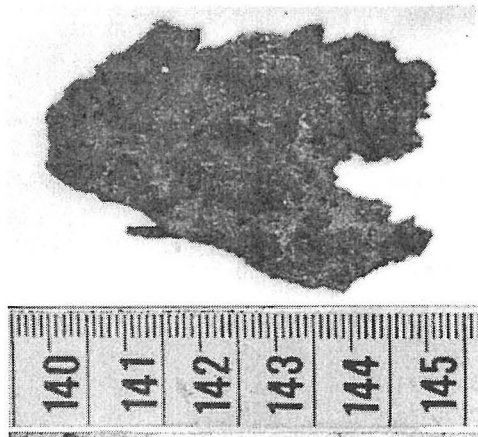


写真-8 上フランジ上面の層状錆

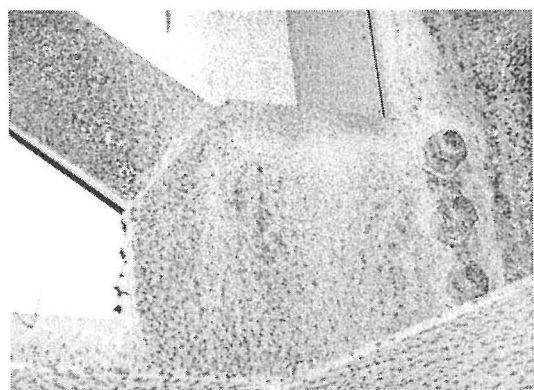


写真-9 桁端部の対傾構の腐食

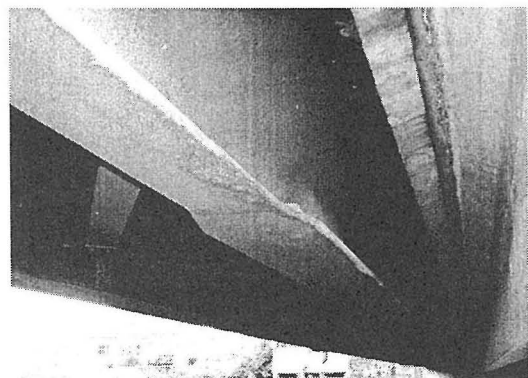


写真-10 下フランジおよびウェブ

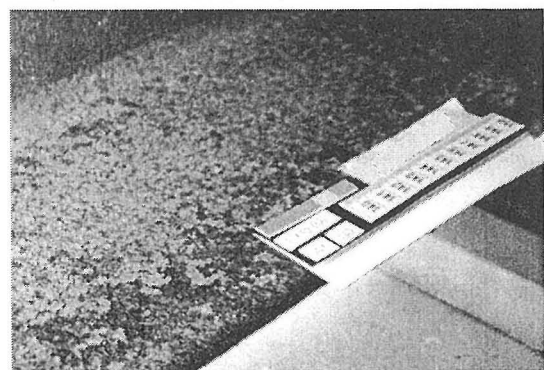


写真-11 フレーク状の錆

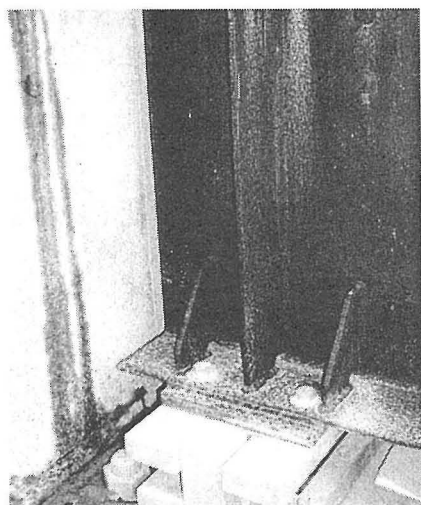


写真-12 桁端部の水漏れ

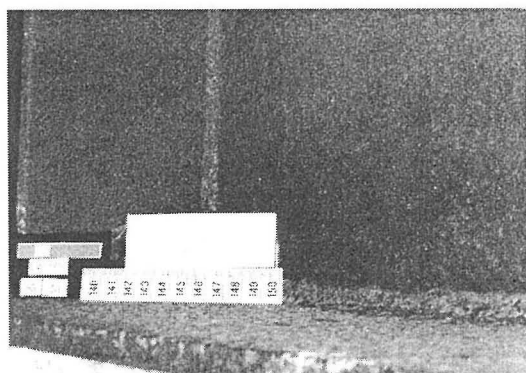


写真-13 下フランジ上面のフレック錆

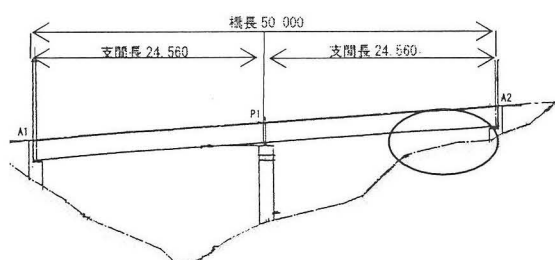


図-9 D橋一般図

4. まとめ

本研究では、長崎県における耐候性鋼無塗装橋梁の実橋調査を行い、調査結果から錆レベルと調査項目との相関を調べるとともに、錆レベルが2以下の橋梁については良好な錆が生成されなかった原因について考察した。

以下に長崎県の耐候性鋼無塗装橋梁の実態をまとめる。

(1) 調査した耐候性鋼無塗装橋梁の大部分が健全である。

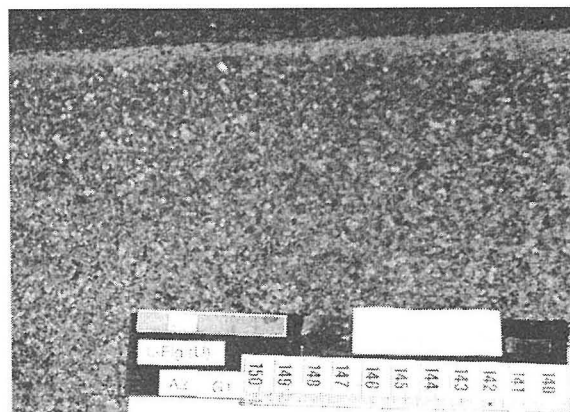


写真-14 下フランジ上面のフレック錆

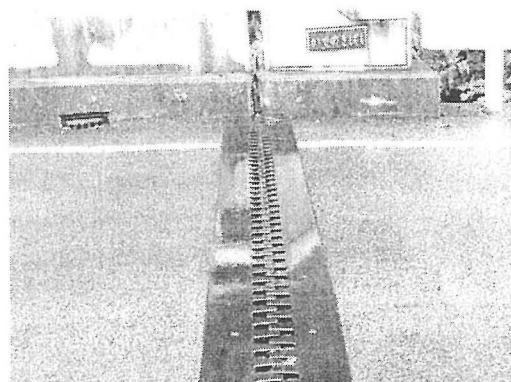


写真-15 地覆のない伸縮装置

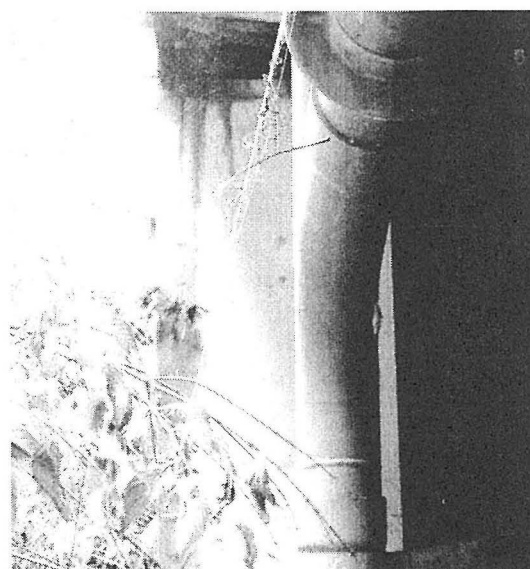


写真-16 伸縮装置からの水漏れ

- (2) 東西方向に架けられている橋梁の北側は、湿気がこもりやすく腐食が進行することが多い。
- (3) 桁下空間の利用状況が河川など水に関わるものである場合、桁下からの蒸気によって下フランジの下面で腐食が進行することが多い。

- (4) 橋台と桁との間隔である遊間など内桁の空間が広いと通気性が良く、錆の生成状況は良好であることが多い。
- (5) 伸縮装置が非排水鋼製フィンガージョイントの場合は、桁端へ漏水していることが少なく腐食しにくい。
- (6) 桁端部において伸縮装置の不備など水仕舞いの悪い橋梁では、内桁の腐食が多く見られた。
- (7) 調査橋梁数が少ないため、調査項目と錆レベルとの相関を明確にすることはできなかった。

長崎県には、今回調査した橋梁以外にも、100橋を越える耐候性 H 形鋼橋梁が架設されているとの資料もあり、本調査で県内の耐候性無塗装橋梁の実態が完全に明らかになったとは言い難い。

今後、そうした橋梁の位置を特定して実態調査を行うとともに、九州・山口地区における耐候性鋼橋の調査・研究分科会で収集した情報すべてを整理し、各県における錆の生成状況を比較・検討する予定である。

謝辞

「1. はじめに」でも述べたとおり、本研究は九州橋梁・構造工学研究会 (KABSE) に設置された「九州・山口地区における耐候性鋼橋の調査・研究分科会」の活動の一環として行ったものであり、

本研究を行う過程において分科会メンバーの皆様に多大な協力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します

参考文献

- 1) 日本道路公団試験研究所 他：耐候性鋼材裸使用橋梁への提言，1999
- 2) 阪神高速道路公団 他：耐候性鋼材の橋梁への適用性に関する調査研究，1998
- 3) 市川ら：海岸近くに架設された鉄道無塗装トラス橋の調査，鉄道総研報告，12-9，pp. 45-50，1998
- 4) (社)日本橋梁建設協会：無塗装橋梁の手引き，1998
- 5) (社)日本鉄鋼連盟 他：耐候性鋼の橋梁への適用 [解説書]，2002.9
- 6) 鋼橋の防食・LCC 部会：鋼橋の LCC 評価と防食設計，2002
- 7) (社)鋼材倶楽部・(社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼の橋梁への適用，2000.8
- 8) 建設省土木研究所 他：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XX)，1993.3